

**AFPP – DIXIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES RAVAGEURS EN AGRICULTURE
MONTPELLIER – 22 ET 23 OCTOBRE 2014**

**ÉVALUATION EN CONDITIONS CONTRÔLÉES DE LA RÉSISTANCE VARIÉTALE DU BLÉ TENDRE D'HIVER
À LA CÉCIDOMYIE ORANGE DU BLÉ, *SITODIPLOSI MOSELLANA* (GÉHIN)**

S. CHAVALLE⁽¹⁾, G. JACQUEMIN⁽²⁾, M. DE PROFT⁽¹⁾

⁽¹⁾ Unité Protection des Plantes et Écotoxicologie, Département Sciences du Vivant, Centre wallon de Recherches agronomiques, Chemin de Liroux 2, 5030 Gembloux, Belgique – E-mails : s.chavalle@cra.wallonie.be; m.deproft@cra.wallonie.be

⁽²⁾ Unité Stratégie phytotechniques, Département Productions et Filières, Centre wallon de Recherches agronomiques, Rue du Bordia 4, 5030 Gembloux, Belgique – E-mails : g.jacquemin@cra.wallonie.be

RESUMÉ

La résistance variétale constitue une méthode de lutte efficace contre la cécidomyie orange du blé, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). La détermination du degré de résistance dans les essais de plein champ se heurte au manque d'homogénéité de l'exposition à l'insecte, en raison des décalages de précocité à l'épiaison. Pour s'affranchir de cet obstacle, une méthode originale a été mise au point, où les variétés semées dans des conteneurs sont rentrées en serre à l'approche de l'épiaison, et couvertes d'un voile. Dès l'apparition des premiers épis, et pendant une dizaine de jours, de jeunes adultes de *S. mosellana* sont lâchés dans ces volières. Le degré de résistance est mesuré via le nombre de larves qui se sont développées dans les épis. Cette technique aisée, économe et fiable, profite des acquis récents sur le cycle biologique de *S. mosellana*, qui permettent d'échelonner sur plusieurs semaines l'émergence de jeunes adultes prêts à pondre.

Mots-clés : cécidomyie, *Sitodiplosis mosellana*, blé, résistance, variété.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF WINTER WHEAT VARIETAL RESISTANCE TO ORANGE WHEAT BLOSSOM MIDGE, *SITODIPLOSI MOSELLANA* (GÉHIN), UNDER CONTROLLED CONDITIONS

Varietal resistance is an effective control method against orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). The determination of the resistance degree through field trials is hindered by the homogeneity lack of the exposure to the insects due to the variation in the date of heading of various varieties. To overcome this obstacle, a novel method has been developed, where the varieties sown in containers are placed in greenhouse at the approach of heading, and covered with a veil. Starting from the appearance of first ears, and for ten days, young adults of *S. mosellana* are released into these enclosures. The degree of resistance is measured from the number of larvae that developed in the ears. This easy, economical and reliable method, benefits from the recent advances of knowledge in the biological cycle of *S. mosellana*, which allow to induce the emergence of young adults ready to lay eggs over several weeks.

Keywords: midge, *Sitodiplosis mosellana*, wheat, resistance, variety.

INTRODUCTION

La cécidomyie orange, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptères : Cecidomyiidae), est un ravageur du blé présent dans toutes les régions céréalières de l'hémisphère nord. Les larves de cette espèce univoltine passent l'hiver dans le sol. Au printemps, les larves quittent leur cocon, et remontent vers la surface où elles se nymphosent, puis les adultes émergent du sol. Après accouplement sur le site d'émergence, les femelles volent à la recherche d'une plante hôte pour pondre leurs œufs dans les épis (Pivnick et Labbé, 1992). Les œufs éclosent quelques jours plus tard et les larves se nourrissent aux dépens des grains en formation (Reeher, 1945). Vers début juillet, lorsqu'elles ont achevé leur phase alimentaire, les larves se laissent tomber des épis à la faveur d'une pluie et pénètrent dans le sol où elles tissent un cocon et entrent en diapause, au moins jusqu'au printemps suivant (Barnes, 1956).

De récentes pullulations, accompagnées de dégâts ont été observées en Europe, particulièrement au Royaume-Uni (Oakley *et al.*, 2005), en Allemagne (Gaafar et Volkmar, 2010), en France (Rouillon *et al.*, 2006) et en Belgique (Jacquemin *et al.*, 2014), mais également en Amérique du Nord (Olfert *et al.*, 1985 ; Lamb *et al.*, 1999 ; Knodel et Ganehiarachchi, 2008) et en Asie (Katayama *et al.*, 1987 ; Wu *et al.*, 2013). D'importants dégâts peuvent être observés en blé, comme par exemple au Royaume-Uni où les pertes de rendement ont atteint 30.000.000 £ en 1993 (Oakley, 1994) et 60.000.000 £ en 2004 malgré l'application d'insecticides sur 500.000 ha (Oakley *et al.*, 2005).

Les dégâts de ce ravageur sont souvent sous-estimés en raison des difficultés de détection. Ils sont aussi très inégaux entre les champs et les années. La principale raison de cette irrégularité est la nécessaire coïncidence de trois éléments : la phase sensible du blé, la présence de l'insecte adulte, et les conditions climatiques favorables pour le vol et la ponte (Basedow et Gillich, 1982 ; Pivnick et Labbé, 1993 ; Oakley *et al.*, 1998). La phase sensible du blé commence dès l'émergence des épis et se poursuit jusqu'à la floraison (Barnes, 1956 ; Ding et Lamb, 1999). Les dégâts occasionnés aux grains sont plus importants dans les épis exposés à la ponte durant l'épiaison (stades de croissance 51-59 selon l'échelle Zadoks) que durant la floraison (stades de croissance 61-69 selon l'échelle Zadoks) (Zadoks *et al.*, 1974 ; Elliott et Mann, 1996). Cette différence résulte du niveau de survie des larves qui décline après le début de l'anthèse (Elliott et Mann, 1996 ; Ding et Lamb, 1999).

La biologie et le comportement de *S. mosellana* ont été étudiés de façon approfondie. L'activité des adultes est inhibée par des vents supérieurs à 10 km/h et par la pluie (Pivnick et Labbé, 1993). Les vols requièrent au moins 15°C, tandis que les pontes, qui ont principalement lieu le soir et tôt le matin, requièrent 11°C (Pivnick et Labbé, 1993).

Plusieurs modèles prévisionnels des émergences ont été proposés en Europe (Basedow et Gillich, 1982 ; Kurppa, 1989 ; Oakley *et al.*, 1998 ; Jacquemin *et al.*, 2014) et en Amérique du Nord (Wise et Lamb, 2004 ; Knodel et Ganehiarachchi, 2008 ; Elliott *et al.*, 2009). En Belgique, le modèle récemment proposé par Jacquemin *et al.* (2014) comporte quatre phases successives. La première est la phase de vernalisation, au cours de laquelle les besoins en froid doivent être remplis pour permettre la levée de la diapause. Dans nos régions, ces besoins en froid sont toujours remplis (Oakley *et al.*, 1998). La deuxième consiste en une accumulation de température de 250 degrés-jours (DJ) en base 3°C à partir du 1^{er} janvier. La troisième, de durée variable, commence lorsque la deuxième est achevée et se poursuit jusqu'à l'apparition d'un double signal constitué de l'élévation de la température moyenne à 13°C suivie de précipitations. Ces précipitations déclenchent la quatrième phase et consiste en une accumulation de température de 160 DJ en base 7°C. Au terme de cette dernière phase, les adultes émergent. Ce modèle, éprouvé de 2007 à 2014, a permis de déterminer les émergences avec un écart moyen de moins d'un jour, et un écart maximum de deux jours par rapport aux émergences observées.

Une autre source de l'irrégularité des dégâts occasionnés par *S. mosellana* est le degré de sensibilité des différentes variétés cultivées à ce ravageur. En effet, plusieurs variétés se sont montrées vulnérables, alors que d'autres se sont révélées résistantes (Oakley *et al.*, 2005 ; Ellis *et al.*, 2009).

Chez le blé tendre, la résistance variétale à *S. mosellana* est associée à l'antixénose ou à l'antibiose : l'antixénose inhibe la ponte (Lamb *et al.*, 2002), tandis que l'antibiose, conférée par le gène *Sm 1*, inhibe l'alimentation des larves par production accrue d'acides phénoliques menant à leur mort (Ding *et al.*, 2000). Cependant, des études anglaises ont montré qu'un taux élevé en acides phénoliques chez des variétés de blé tendre d'hiver résistantes n'était pas corrélé à la seule présence du gène *Sm 1*. En effet, deux ou trois autres gènes seraient également impliqués dans cette résistance par antibiose (Oakley *et al.*, 2005 ; Ellis *et al.*, 2009). La résistance de ces blés tendres d'hiver pourrait donc être multigénique, ce qui les rendrait plus robustes à d'éventuels contournements de résistance par le ravageur.

La culture de variétés résistantes constitue une méthode de lutte efficace contre *S. mosellana* puisqu'elle permet de limiter la multiplication de l'insecte en évitant tout traitement insecticide. De plus, ces traitements, difficiles à positionner, sont réalisés avec des insecticides à large spectre pouvant influencer sur les ennemis naturels des pucerons et même de la cécidomyie orange, particulièrement *Macroglenes penetrans*, un parasitoïde très abondant (Olfert *et al.*, 2009). Dans cette optique, identifier les variétés résistantes ou peu sensibles à *S. mosellana* est un élément essentiel. Cependant, en plein champ, les dates d'épiaison entre les variétés les plus précoces et les variétés les plus tardives s'échelonnent sur 2 à 3 semaines. La probabilité d'observer des femelles de *S. mosellana* en état de pondre, mais aussi des conditions favorables aux pontes pendant toute cette période, est très faible. Afin de contourner ce manque d'homogénéité de l'exposition à l'insecte, une évaluation des variétés en conditions contrôlées apparaît donc plus pertinente. Cet article décrit la méthode mise au point pour évaluer, en conditions contrôlées, la résistance variétale à *S. mosellana*. Le degré de résistance de chaque variété est mesuré via le nombre de larves qui se sont développées dans les épis.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

CULTURE DES VARIÉTÉS DE BLÉ TENDRE D'HIVER

Les plantes à tester peuvent provenir de semis effectués directement dans des conteneurs, ou bien de champs d'essai où elles ont passé l'hiver avant d'être repiquées en conteneurs. Dans le cas des semis en conteneur, les variétés sont semées en décembre en serre afin d'en accélérer la levée et ensuite disposées à l'extérieur pour assurer la vernalisation.

Les conteneurs sont laissés à l'extérieur jusqu'à l'approche de l'épiaison du blé, stade auquel ils doivent avoir été rentrés en serre et couverts de voiles destinés à éviter que les insectes lâchés ne se dispersent dans tout le volume de la serre. Dès que les premières gaines éclatent, les lâchers d'insectes commencent. Tout au long de l'essai, la culture des différentes variétés est conduite de la même façon qu'au champ : désherbage, fumure, régulateurs de croissance, fongicides. L'arrosage cible la base des plantes afin de limiter un effet destructeur sur les cécidomyies. Les conteneurs sont examinés tous les jours, et débarrassés des criocères et autres ravageurs. Les araignées sont également éliminées quotidiennement afin d'éviter toute formation de toiles pouvant capturer *S. mosellana*.

CONSTITUTION D'UNE RÉSERVE DE *S. MOSELLANA*

Dans un premier temps, la constitution d'une réserve de *S. mosellana* est nécessaire. Pour cela, une technique efficace consiste à récolter les épis de blé dans un champ fortement infesté avant que les larves de cécidomyie orange ne soient retournées au sol. Ces épis, disposés sur des grillages posés sur des bacs en plastique, sont soumis à un arrosage continu pendant plusieurs heures, afin de stimuler les larves à se laisser tomber. Les larves coulent au fond des bacs où elles peuvent être récoltées très facilement.

Elles sont ensuite disposées par lots de quelques centaines, voire quelques milliers dans des paniers contenant environ 3 dm³ de terre limoneuse bien arrosée, où on les laisse s'enfouir. Le nombre de

paniers à confectionner doit au moins correspondre au nombre de jours pendant lesquels les lâchers d'adultes auront lieu. Les paniers sont disposés à l'extérieur, dans une tranchée et y subissent toutes les conditions extérieures jusqu'après l'hiver. En cas de sécheresse estivale, il est toutefois prévu d'arroser les paniers. Les températures auxquelles ils sont soumis sont enregistrées à l'aide de ThermoPuce® (Waranet Solutions SAS, Auch, France).

PRODUCTION DES JEUNES ADULTES ET LÂCHERS DANS LES VOLIÈRES

A la sortie de l'hiver, les larves ont subi le froid nécessaire à leur vernalisation. La suite de la méthode visant à échelonner les émergences de jeunes adultes, se fonde sur les acquis récents concernant les facteurs déclenchant l'émergence des adultes chez *S. mosellana* (Jacquemin *et al.*, 2014).

En fin d'hiver, les paniers sont placés en chambre froide (5°C) afin de ralentir la première phase d'accumulation de 250 DJ en base 3°C, décrite par Jacquemin *et al.* (2014). A ce stade, la réserve de *S. mosellana* est prête à être utilisée : il ne reste plus qu'à déclencher la dernière phase du développement pour obtenir des adultes.

La suite du processus consiste à échelonner l'activation de la fin du développement. Tous les jours, ou tous les deux jours, un ou plusieurs paniers sont sortis de la chambre froide et disposés à une température voisine de 20°C afin de compléter l'acquisition des 250 DJ en base 3°C. L'humidité de la terre est entretenue par des arrosages légers, de manière à provoquer la sortie des larves de leur cocon dès que les 250 DJ en base 3°C ont été accumulés, et leur migration vers la surface en vue de la nymphose. Les paniers sont alors immergés délicatement dans l'eau pendant deux minutes afin d'enclencher la deuxième phase d'accumulation (160 DJ en base 7°C) se terminant par l'émergence des adultes. Peu avant le début des émergences, chaque panier est placé dans une cage d'émergence en toile noire surmontée d'un collecteur en plastique transparent pour récupérer les insectes.

Dès que les premières gaines des variétés à tester éclatent, les lâchers d'insectes commencent. Chaque jour, le nombre de jeunes adultes émergés de *S. mosellana* est estimé et ceux-ci sont relâchés dans les volières contenant les variétés testées.

ÉVALUATION DU DEGRÉ DE RÉSISTANCE DES VARIÉTÉS

Le degré de résistance des variétés à *S. mosellana* est mesuré via le nombre de larves développées dans les épis. Le nombre de larves est déterminé par lot de 20 épis par variété. En 2011, le degré de résistance de chaque variété a été établi à partir d'un seul lot de 20 épis tandis qu'en 2012 et 2013, deux lots ont été utilisés. Afin de s'assurer que toutes les variétés testées aient subi une exposition suffisante à l'insecte, des variétés témoins, c'est-à-dire connues soit comme résistantes, soit comme sensibles, ont été intégrées dans chaque essai, et ceci dans toute la gamme de précocité à l'épiaison.

Les épis ont été prélevés le 29/06/2011, le 25/06/2012 et le 24/07/2013. A ces dates, les larves de cécidomyie orange avaient terminé leur phase alimentaire, même dans les variétés les plus tardives, et n'attendaient plus qu'une pluie pour quitter les épis. Aucune larve ne pouvait avoir quitté les épis spontanément, puisque l'arrosage des variétés en serre a été effectué au sol. Deux méthodes distinctes ont été utilisées afin de déterminer le nombre de larves développées dans les épis : soit l'extraction mécanique au laboratoire (en 2011 et 2012), soit l'extraction active (2013). En 2011 et 2012, les épis ont été récoltés et conservés par lot à -18°C, en attendant l'extraction des larves. Lors de l'extraction, les épillets ont été détachés des rachis. Les épillets ont été immergés dans un litre d'eau maintenu sous agitation pendant 20 minutes. Ensuite, l'eau contenant les épillets a été versée au-dessus de trois tamis superposés dont les mailles étaient successivement de 2,8 mm, 1,0 mm et 0,3 mm. Les épillets disposés sur les tamis ont été manipulés à la main, sous un jet d'eau continu pendant 20 minutes. Seul le tamis de mailles de 0,3 mm retenait les larves de *S. mosellana*. Ces larves ont été récoltées, identifiées et comptées sous loupe binoculaire.

En 2013, l'extraction active des larves a été utilisée. Les épis ont été récoltés et disposés par deux au-dessus de petits entonnoirs posés dans des tubes en verre afin de récupérer les larves. Ce dispositif a été arrosé par une pluie artificielle durant plusieurs heures afin de provoquer la sortie naturelle des

larves de *S. mosellana* des épis. Les larves ont été récupérées au fond des tubes, identifiées et comptées sous loupe binoculaire. Afin de s'assurer que toutes les larves aient quitté les épis, plusieurs pluies artificielles successives ont été appliquées.

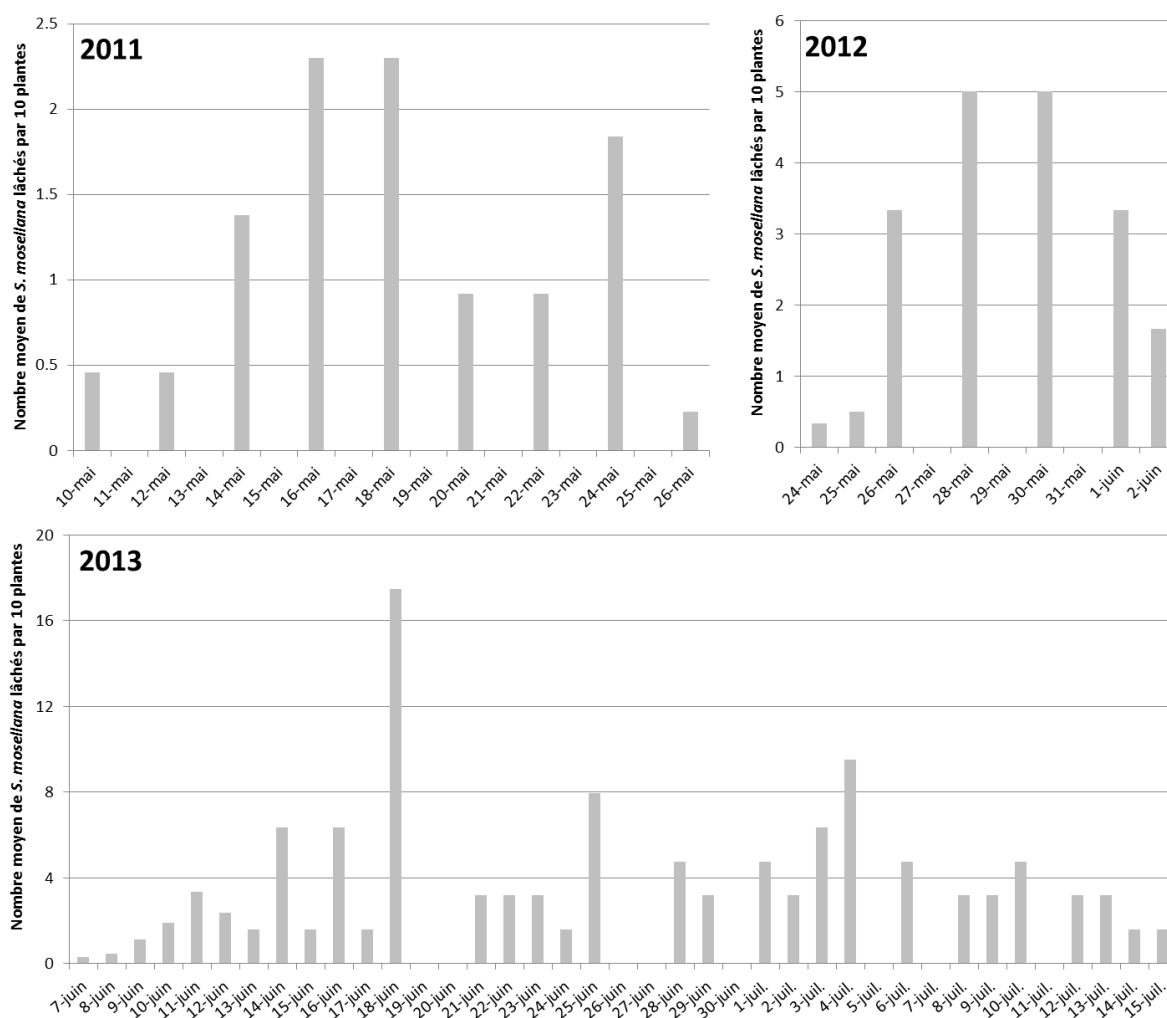
RÉSULTATS ET DISCUSSION

INFESTATION DES VOLIÈRES ET LÂCHERS DE *S. MOSELLANA*

Chaque année, les lâchers d'adultes de *S. mosellana* ont été effectués durant toute la période sensible des variétés étudiées (Figure 1).

En 2011, des insectes ont été lâchés de deux en deux jours entre le 10/05/2011 et le 26/05/2011. En 2012, la période à couvrir par les lâchers d'insectes a été très brève : du 24 mai au 2 juin. En revanche, en 2013, de très grandes disparités de précocité entre les variétés étudiées ont imposé des lâchers pendant plus d'un mois, ce qui a entraîné un plus grand nombre d'insectes lâchés durant la période sensible. En moyenne, le nombre total d'insectes lâchés par 10 plantes était de 11 individus en 2011, 19 en 2012, et 121 en 2013.

Figure 1 : Nombre moyen de *S. mosellana* lâchés par 10 plantes durant la phase sensible des variétés en 2011, 2012 et 2013
(Mean number of *S. mosellana* released per 10 plants during the susceptible phase of varieties in 2011, 2012 and 2013)



En 2011, la production d'insectes d'élevage n'avait pas encore atteint un niveau suffisant pour couvrir toute la période sensible des variétés étudiées. Les lâchers d'insectes produits en conditions contrôlées ont donc été complétés par des lâchers de femelles capturées à hauteur d'épis à la tombée du jour (femelles occupées à pondre), à l'aide d'un aspirateur à insectes de type Vortis® (Burkard Manufacturing Co. Ltd., Hertfordshire, Angleterre). Les années suivantes, les progrès accomplis ont permis de se passer des apports d'insectes capturés. Désormais, la récolte de larves devant constituer la réserve est réalisée au champ, dans des parcelles protégées par des volières. Des adultes de *S. mosellana* produits en élevage y sont lâchés en grand nombre au cours de la période vulnérable du blé. Les volières ont plusieurs fonctions : éviter la dispersion des cécidomyies, améliorer les conditions de vol et de ponte par réduction du vent et augmentation de la température, et surtout, protéger les œufs de cécidomyie contre le parasitisme de *M. penetrans*, quelquefois très important. Lorsque les larves approchent du stade L3, auquel elles sont susceptibles de se laisser tomber à la première pluie, ces volières sont couvertes d'une feuille de plastique imperméable au moindre risque de pluie.

Désormais, la production de jeunes adultes prêts à pondre, et l'échelonnement de leurs émergences peuvent être considérés comme au point : il est possible d'étaler la production d'insectes sur quatre à cinq semaines, voire plus. Il est aussi envisageable de réaliser des tests de résistance en serres, en toutes saisons.

ÉVALUATION DU DEGRÉ DE RÉSISTANCE DES VARIÉTÉS

Le nombre de larves s'étant développées dans les épis est très variable en fonction de la variété (Figure 2). Des niveaux de sensibilité différents apparaissent selon les variétés. Sur les 28 variétés étudiées, 18 se sont montrées franchement sensibles à *S. mosellana*. Les 10 autres se sont révélées résistantes, mais à des degrés divers.

En 2011, quasi aucune larve ne s'est développée dans les variétés Altigo, Farandole, Viscount et Azzerti. Le même constat a été fait en 2012 dans les variétés Heros et Robigus. Ces variétés présentent un haut niveau de résistance à *S. mosellana*.

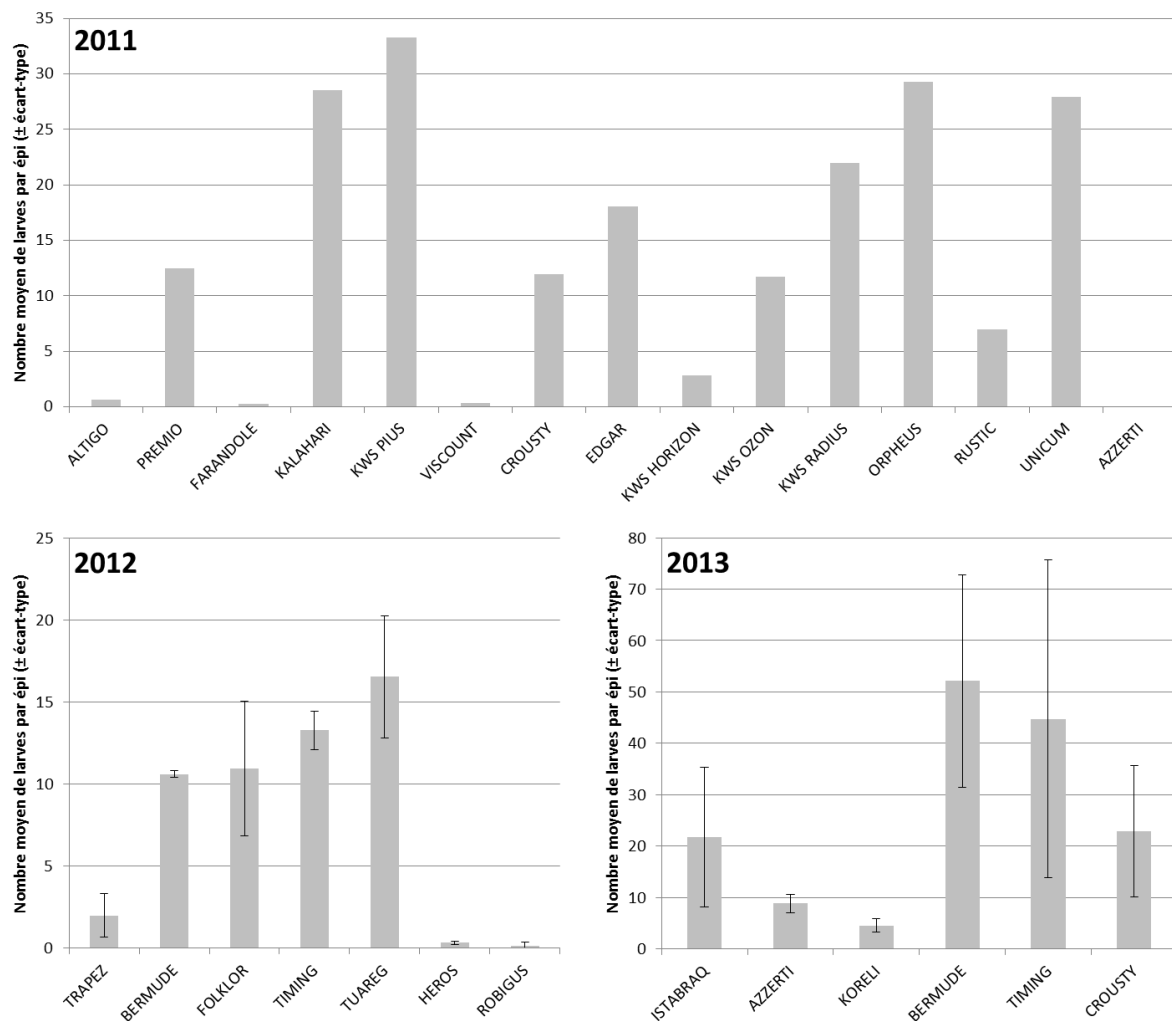
Les variétés KWS Horizon (en 2011) et Trapez (en 2012), quant à elles, ont montré un niveau de résistance intermédiaire (< 5 larves par épi).

En 2013, les niveaux d'infestation observés ont été très élevés (jusqu'à > 50 larves par épi), en raison des lâchers très abondants effectués. Dans ces conditions, les variétés Azzerti et Koreli, pourtant connues comme résistantes (Jacquemin, 2014), ont permis le développement de plusieurs larves par épi. Les niveaux d'infestation dans ces deux variétés indiquent que leur résistance à la cécidomyie orange, soit n'est pas totale, soit qu'elle est contournée par une fraction de la population de l'insecte (Smith *et al.*, 2007). Par l'une ou l'autre voie, lorsque la pression du ravageur est élevée, quelques larves peuvent se développer, même dans des variétés résistantes.

Les grands écarts-types observés en 2013, malgré le lâcher d'un même nombre d'adultes dans les deux répétitions, pourraient s'expliquer par une différence de succès de l'insecte résultant des conditions hétérogènes entre les volières (différences de température ou d'humidité).

Toutes les observations ont été validées par le fait que toutes les variétés se trouvaient encadrées au niveau de leur précocité à l'épiaison par des variétés sensibles (témoins positifs) ayant permis le développement de larves en nombres élevés au cours de l'expérimentation. En effet, plusieurs variétés testées dans ces expérimentations ne sont pas présentées dans le présent article, pour raison de confidentialité envers leurs obtenteurs.

Figure 2 : Nombres moyens de larves par épi observés pour chaque variété en 2011, 2012 et 2013. Les variétés sont classées par ordre décroissant de précocité de l'épiaison (Mean numbers of larvae per ear observed for each variety in 2011, 2012 and 2013. The varieties are listed by descending order of earliness of heading)



Les résultats présentés ne sont pas sans défauts. En effet, ils proviennent d'une méthode qui s'est perfectionnée d'année en année et plusieurs aspects de la méthode sont encore facilement perfectibles.

Ainsi, l'entretien de la culture dans les conteneurs pourrait être simplifiée et homogénéisée par un équipement d'arrosage goutte à goutte. Les variétés, plutôt que d'être semées en lignes pouvant donner lieu à une domination de certaines par leurs voisines, pourraient être semées par spots bien séparés les uns des autres.

La production d'insectes en nombre suffisant est désormais bien maîtrisée, de même que l'étalement des émergences. Cette situation avantageuse permet d'ajuster les nombres d'insectes lâchés de manière à obtenir une image pertinente de la résistance.

Jusqu'à présent, les insectes ont été lâchés dans des volières leur permettant le choix des variétés sur lesquelles pondre. Cette situation pose le problème de l'indépendance des résultats. S'affranchir de cette question est possible en isolant chaque variété dans une petite volière individuelle.

La méthode d'extraction active des larves par arrosage est efficace et économe en temps. Elle pourrait encore être perfectionnée de manière à donner des résultats épi par épi.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus indiquent que l'on peut effectivement parler de « résistance » à la cécidomyie orange du blé de la part de plusieurs variétés. Toutefois, aucune variété étudiée ne s'est montrée immune, soit parce que la résistance n'est pas complète, soit parce qu'elle est contournée par une fraction de la population d'insectes. La résistance a donc des limites. Elle peut être dépassée en cas de pression élevée du ravageur, ou suite à une pression sélective continue du fait de la culture exclusive de variétés résistantes. L'étude de ce phénomène pourrait permettre, d'une part de mieux comprendre les mécanismes en jeu dans la résistance à *S. mosellana* et, d'autre part de déterminer les risques de contournement de la résistance.

Moyennant quelques perfectionnements faciles à atteindre, la méthode développée pourrait permettre de déterminer la variation d'infestation entre épis d'une même plante ou entre plantes d'une même variété. Des renseignements d'une telle précision, utilisés tôt dans le processus de sélection, pourraient orienter les choix des sélectionneurs, et peut-être révéler des mécanismes de résistance originaux.

Grâce aux avancées méthodologiques développées dans le cadre de cette étude, il est désormais possible d'étudier la relation hôte-ravageur, en conditions contrôlées. Plusieurs points de cette relation pourraient être précisés, tels que les limites exactes de la phase de vulnérabilité du blé. Il en va de même d'éventuels phénomènes d'antixénose, et aussi des diverses facettes de la biologie de *S. mosellana* : comportement, longévité, prolificité, etc.

La méthode mise au point pour évaluer la résistance variétale du blé à *S. mosellana* peut évidemment s'étendre aux autres céréales, et pourquoi pas aux graminées prairiales ou sauvages.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient D. Gasia, J. Denayer et A. Mahieu pour leur aide technique et la Région wallonne (D GARNE) pour le soutien financier.

BIBLIOGRAPHIE

- Barnes H.F., 1956 - Gall midges of cereal crops. In : Barnes, H.F. *Gall midges of economic importance. Volume VII. Cereal Crops*. Éditions Crosby Lockwood and Son Ltd, Londres, 29-82.
- Basedow T., Gillich H., 1982 - Untersuchungen zur prognose des auftretens der weizengallmücken *Contarinia tritici* (Kirby) und *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera, Cecidomyiidae). II. Faktoren, die ein schadauftreten der mücken verhindern können. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz*, 55, 6, 84-89.
- Ding H., Lamb R.J., 1999 - Oviposition and larval establishment of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat (Graminae) at different growth stages. *The Canadian Entomologist*, 131, 4, 475-481.
- Ding H., Lamb R.J., Ames N., 2000 - Inducible production of phenolic acids in wheat and antibiotic resistance to *Sitodiplosis mosellana*. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 4, 969-985.
- Elliott R.H., Mann L.W., Olfert O.O., 2009 - Calendar and degree-day requirements for emergence of adult wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) in Saskatchewan, Canada. *Crop Protection*, 28, 7, 588-594.
- Elliott R.H., Mann L.W., 1996 - Susceptibility of red spring wheat, *Triticum aestivum* L. cv. Katepwa, during heading and anthesis to damage by wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 128, 3, 367-375.
- Ellis S.A., Bruce T.J.A., Smart L.E., Martin J.A., Snape J., Self M., 2009 - Integrated management strategies for varieties tolerant and susceptible to wheat blossom midge. *HGCA Project Report no. 451*.

- Gaafar N., Volkmar C., 2010 - Evaluation of wheat ear insects in large scale field in central Germany. *Agricultural Sciences*, 1, 2, 68-75.
- Jacquemin G., 2014 - Cécidomyie orange et évaluation des variétés de froment. In : La cécidomyie orange du blé, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) : appréhension des risques et gestion intégrée, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 124-141.
- Jacquemin G., Chavalle S., De Proft M., 2014 - Forecasting the emergence of the adult orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) in Belgium. *Crop Protection*, 58, 6-13.
- Katayama J., Fukui M., Sasaki H., 1987 - Seasonal prevalence of adult occurrence and infestation of the wheat blossom midge. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 31, 1, 46-50.
- Knodel J., Ganehiarachchi M., 2008 - Integrated pest management of the wheat midge in North Dakota - E1130. *NDSU Extension Service*.
- Kurppa S., 1989 - Wheat blossom midges, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) and *Contarinia tritici* (Kirby) in Finland, during 1981-1987. *Annales agriculturae Fenniae*, 28, 87-96.
- Lamb R.J., Wise I.L., Olfert O.O., Gavloski J., Barker P.S., 1999 - Distribution and seasonal abundance of *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 131, 3, 387-397.
- Lamb R.J., Wise I.L., Smith M.A., McKenzie R.I.H., Thomas J., Olfert O.O., 2002 - Oviposition deterrence against *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in spring wheat (Gramineae). *The Canadian Entomologist*, 134, 5, 85-96.
- Oakley J.N., 1994 - Orange wheat blossom midge: a literature review and survey of the 1993 outbreak. *HGCA Research Review no. 28*.
- Oakley J.N., 1995 - Orange wheat blossom midge: Survey of the 1994 outbreak. *HGCA Project Report no. 106*.
- Oakley J.N., Cumbleton P.C., Corbett S.J., Saunderst P., Green D.I., Young J.E.B., Rodgers R., 1998 - Prediction of orange wheat blossom midge activity and risk of damage. *Crop Protection*, 17, 2, 145-149.
- Oakley J.N., Talbot G., Dyer C., Self M.M., Freer J.B.S., Angus W.J., Barrett J.M., Feuerhelm G., Snape J., Sayers L., Bruce T.J.A., Smart L.E., Wadhams L.J., 2005 - Integrated control of wheat blossom midge: variety choice, use of pheromone traps and treatment thresholds. *HGCA Project Report no. 363*.
- Olfert O.O., Elliott R., Hartley S., 2009 - Non-native insects in agriculture: strategies to manage the economic and environmental impact of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, in Saskatchewan. *Biological Invasions*, 11, 1, 127-133.
- Olfert O.O., Mukerji M.K., Doane J.F., 1985 - Relationship between infestation levels and yield loss caused by wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), in spring wheat in Saskatchewan. *The Canadian Entomologist*, 117, 5, 593-598.
- Pivnick K.A., Labbé E., 1992 - Emergence and calling rhythms, and mating behaviour of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 124, 3, 501-507.
- Pivnick K.A., Labbé E., 1993 - Daily patterns of activity of females of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 125, 4, 725-736.
- Reeher M.M., 1945 - The wheat midge in the Pacific Northwest. *U.S. Department of Agriculture Circular no. 732*.
- Rouillon C., Doucet R., Taupin P., 2006 - Ravageurs de printemps. Cécidomyies. L'efficacité de la lutte passe par une bonne observation. *Perspectives agricoles*, 322, 58-61.

- Smith M.A.H., Wise I.L., Lamb R.J., 2007 – Survival of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat (Poaceae) with antibiosis resistance: implication for the evolution of virulence. *The Canadian Entomologist*, 139, 1, 133-140.
- Wise I.L., Lamb R.J., 2004 - Diapause and emergence of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) and its parasitoid *Macroglenes penetrans* (Hymenoptera: Pteromalidae). *The Canadian entomologist*, 136, 1, 77-90.
- Wu Y.-Q., Duan A.-J., Zhang Z.-Q., Liu C.-Y., Liu S.-T., Jiang Y.-L., Miao J., Duan Y., Gong Z.-J., Li T., 2013 - Resistance grading method and evaluation in wheat varieties to orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in China. *Acta Agronomica Sinica*, 12, 39, 2171-2176.
- Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F., 1974 - A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 6, 415-421.